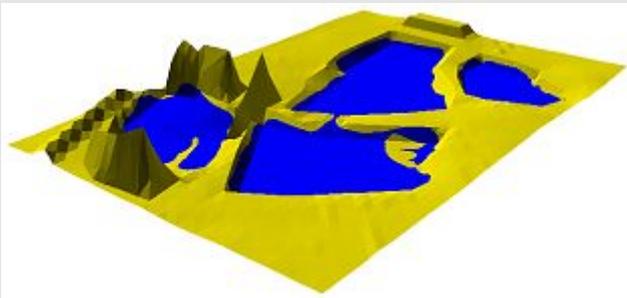


---

# Vorstudie zur Integration der Lage- und Höhendaten des Bundes



**Autoren:** Christian Heipke, Monika Sester, Ingo Kruse, Karl-Heinrich Anders

**Kontakt:** Institut für Photogrammetrie und Geoinformation,  
Institut für Kartographie und Geoinformatik,  
Leibniz Universität Hannover  
[christian.heipke@ipi.uni-hannover.de](mailto:christian.heipke@ipi.uni-hannover.de)  
[monika.sester@ikg.uni-hannover.de](mailto:monika.sester@ikg.uni-hannover.de)

**Datum:** Juli 2007

## **Zusammenfassung:**

Diese Vorstudie dokumentiert die Überlegungen und Untersuchungen zur konsistenten Integration von Höhen- und Lageinformationen in einem Datenbestand des Bundes. Primär geht es um eine Zusammenstellung und Analyse der für diese Integration wesentlichen Aspekte. In der Vorstudie erfolgt eine Konzentration auf die Integrationsmöglichkeiten der morphologisch relevanten Objekte des Landschaftsmodells und des DGMS. Fragen der Datenhaltung und Aufwandsabschätzung werden ebenfalls angesprochen und ein Vorschlag für die Realisierung unterbreitet.

# Inhalt

1	Aufgabe .....	3
2	Ausgangslage .....	3
3	Prinzipielle Problemstellung .....	4
3.1	Semantische Konsistenz .....	4
3.2	Höhenlinienableitung .....	6
4	Lösungskonzept .....	6
4.1	Morphologisch relevante DLM-Objekte für mittlere Maßstäbe .....	6
4.2	Vorverarbeitung .....	7
4.3	Berücksichtigung der semantischen Konsistenz: lokale, flächenhafte Objekte .....	10
4.4	Berücksichtigung der semantischen Konsistenz: linienhafte, netzbildende Objekte 11	
4.4.1	Lineare Verteilung des Gefälles längs des Längsprofils .....	11
4.4.2	Adaptive Anpassung der Profilhöhen im Flussverlauf .....	13
4.4.3	Globale Fließbedingung .....	14
4.5	Attributierung der Lageobjekte mit Höheninformation .....	14
4.6	Partitionierung des Datensatzes .....	15
4.7	Datenhaltung .....	15
4.8	Softwarearchitektur .....	15
5	Bewertung des vorgeschlagenen Konzepts .....	16
5.1	Realisierungsaufwand .....	16
5.2	Qualität des Ergebnisses .....	16
6	Literatur .....	16

# DGM-Vorstudie

## 1 Aufgabe

Gemäß dem Vertrag über die „Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung eines Digitalen Landschaftsmodells im mittleren Maßstabsbereich (DLM-Bund)“ zwischen dem Bundesamt für Kartographie und Geodäsie (BKG) und vier Instituten der Leibniz Universität Hannover vom November 2005 und der zugehörigen Leistungsbeschreibung mit Stand April 2006 ist von der Universität u. a. eine Vorstudie zur Integration der Höhendaten des Digitalen Geländemodells (DGM) der Bundesrepublik Deutschland (DGM-Bund) in das DLM-Bund vorzulegen.

Dabei sind folgende Punkte zu beachten:

- Zur kartographisch korrekten Einbindung der Höheninformation sind die verschiedenen Methoden zur Darstellung von Höhen zu beachten.
- Landschaftsobjekte mit morphologischen Eigenschaften sind in ihrer kartographisch optimierten Lage anzuhalten, die Darstellung der Höhenlinien ist diesen anzupassen.
- Die Integrationslösung soll neben Höhenliniendarstellungen auch andere gemeinsame und konsistente Visualisierungen (z. B. Perspektivdarstellungen) erlauben.
- Die Möglichkeiten der diskreten flächenhaften Modellierung der Höhe in den Situationsobjekten sind zu untersuchen und zu bewerten.
- Die Verwendbarkeit verfügbarer Softwareprodukte ist zu prüfen und zu bewerten.

Die Vorstudie soll klären, wie die eine Verfahrensentwicklung für die Integration des DGM-Bund in das DLM-Bund aussehen kann. Die Verfahrensentwicklung selber ist nicht Bestandteil der Vorstudie.

## 2 Ausgangslage

Die Datengrundlage für die Integration bilden

- das DGM-Bund mit einer Gitterweite 25 m. Das DGM-Bund enthält keinerlei geomorphologische Information.
- das Digitale Landschaftsmodell 1:50.000 der Länder (DLM50.1). Das DLM50.1 ist modell-, aber nicht kartographisch generalisiert.
- ein kartographisch generalisierter Vektordatensatz (KVD) mittlerer Auflösung. Der KVD wurde aus verschiedenen Datenquellen erhoben und manuell generalisiert; er enthält jedoch keinerlei Höheninformation.
- das Verschiebungsvektorfeld zwischen dem DLM50.1 und dem KVD sowie eindeutige Links zwischen den sich entsprechenden Objekten. Beides wird in einem anderen Arbeitspaket des WiPKA-Projekts erstellt und hier übernommen.

Im Folgenden wird davon ausgegangen, dass sich DGM-Bund, DLM50.1 und KVD (und damit auch das Verschiebungsvektorfeld) auf dasselbe Koordinatensystem beziehen.

Sollte dies nicht der Fall sein, sind vorab geeignete Transformationen durchzuführen, um die gemeinsame Referenz sicher zu stellen. Eine weitere globale Transformation des DGM-Bund auf das KVD ist damit nicht notwendig.

Das DLM-Bund besitzt einen Maßstab, der in etwa der TK 50 entspricht ist damit ein kartographisch generalisierter Datensatz. Für das DGM-Bund als Digitales Geländemodell gilt dies naturgemäß nicht. Aus diesem Unterschied ergeben sich lokale Abweichungen, die bei der Integration zu berücksichtigen sind. Weitere lokale Lageabweichungen zwischen den drei Datensätzen sind allerdings zu erwarten, da sie aus verschiedenen Quellen, zu unterschiedlichen Zeitpunkten, mit unterschiedlichen Methoden und für unterschiedliche Zwecke erfasst wurden.

### 3 Prinzipielle Problemstellung

Die Lageinformation des DLM-Bund soll auf dem KVD beruhen, da dieser bereits kartographisch generalisiert ist. Für eine kartographisch korrekte Einbindung der Höheninformation in das DLM-Bund zur gemeinsamen und konsistenten Visualisierung von Lage und Höhe, sei es als Höhenlinien oder in anderer Form, müssen deshalb die Generalisierungseffekte und die weiteren lokalen Lageabweichungen berücksichtigt werden. Es soll dabei nicht verschwiegen werden, dass aus den Datensätzen heraus i. A. lediglich eine relative Angleichung vorgenommen werden kann. Es ist dagegen ohne zusätzliche Referenzdaten in der Regel nicht möglich, Aussagen über die absolute Qualität der Daten zu machen und festzustellen, welcher der Datensätze den tatsächlichen Sachverhalt an der Erdoberfläche korrekter, aktueller bzw. detailgetreuer wiedergibt.

Die zu lösende Aufgabe zerfällt in zwei Teilaufgaben:

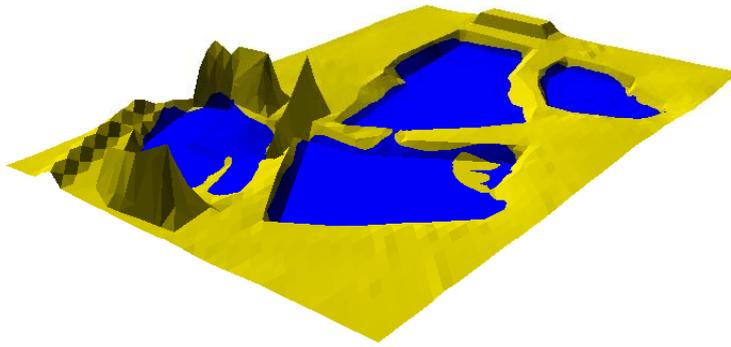
- die Berücksichtigung der semantischen Konsistenz und
- die Ableitung von Höhenlinien unter Berücksichtigung der kartographischen Darstellungsregeln für mittlere Maßstäbe.

#### 3.1 Semantische Konsistenz

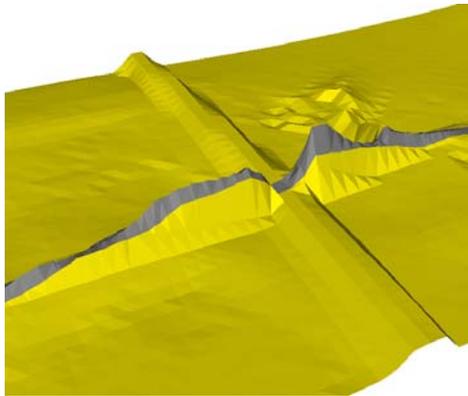
Ein wichtiges Problem bei der Integration der Lage- und Höhendaten ist die Tatsache, dass sich das DGM-Bund sowie das KVD bzw. das DLM50.1 hinsichtlich der Reliefeigenschaften der Lageobjekte widersprechen können, also semantisch inkonsistent zueinander sind. Dies ist insbesondere bei hydrographischen Objekten der Fall, z. B. wird die Oberfläche eines Sees im DGM i. a. nicht horizontal verlaufen, und ein Fluss wird nicht per se bergab fließen. Auch enthält das DGM in der Regel keine Brücken, so dass der Verlauf von Straßen im Bereich von Brücken nicht korrekt wiedergegeben wird. Diese Widersprüche sind prinzipieller Natur, da

- die den Objekten zu Grund liegenden physikalischen Gesetzmäßigkeiten (hier die Schwerkraft) bei der Integration nicht berücksichtigt wurden; dies ist für Seen und Flüsse der Fall, oder
- für die DGM-Erstellung mittlerer und kleiner Maßstäbe die Lageobjekte nicht als Zwangsobjekte angehalten werden, oder
- im DGM für die Lageobjekte die falschen Höhen abgelegt wurden. Dies ist für Brücken der Fall, denn das DGM enthält die Höhe des Tals und nicht die Brückenhöhe.

Daher haben die Widersprüche nicht nur auf die Visualisierung in Form von Höhenlinien Einfluss sondern treten bei jeglicher Art von gemeinsamer Visualisierung auf. Die Abbildung 1 und Abbildung 2 zeigen zwei Beispiele für Perspektivdarstellungen.



**Abbildung 1: Überlagerung eines Seepolygons mit einem DGM. An den Ufern ist deutlich zu erkennen, dass die beiden Datensätze nicht zusammen passen, das Wasser scheint das Ufer hinauf zu fließen (aus Koch 2006).**



**Abbildung 2: Darstellung eines DGM im Bereich einer Straßenrampe und Brücke. Es wird deutlich, dass die Rampe im DGM nur sehr rudimentär und die Brücke überhaupt nicht enthalten sind (aus Koch 2006).**

Auch wenn insbesondere das zweite Beispiel nicht dem hier betrachteten Maßstabsbereich entspricht, verdeutlichen beide Beispiele das grundsätzliche Problem und zeigen, wie derartige Widersprüche den visuellen Eindruck einer gemeinsamen Darstellung von Lage- und Höhendaten stören. Diese sollen daher im Zuge der Integration behoben werden.

Es sei angemerkt, dass für eine semantisch korrekte Repräsentation und Visualisierung im Bereich von Brücken sowohl die Tal- als auch die Brückenhöhe benötigt werden. Erst dann können bei der Ableitung von Höhenlinien die Höhen des Tals verwendet werden, denn diese beschreiben das Gelände. Für Perspektivansichten ist es dann möglich, sowohl den Brückenkörper als auch das sich dahinter befindliche Gelände korrekt darzustellen. Ähnliche Überlegungen gelten für Tunnel und Höhlen.

Es ist allerdings davon auszugehen, dass das DGM auch zukünftig nur einen Höhenwert pro Lageposition enthalten wird. Daher wird davon abgesehen, das für die Brücken beschriebene Problem weiter zu verfolgen. In der jetzigen Situation werden die Höhenlinien entsprechend dem Talverlauf semantisch korrekt dargestellt, Brücken und Tunnel und Höhlen stellen einen Spezialfall dar, der bei der Integration unberücksichtigt bleibt. Die weiteren Aussagen zur semantisch korrekten Integration von Lage- und Höhendaten erstrecken sich deshalb auf hydrographische Objekte.

Eine Berücksichtigung der semantischen Konsistenz im Zuge der Datenintegration wird derzeit von keinem kommerziell verfügbaren Softwareprogramm angeboten und muss deshalb selber entwickelt werden. Dabei ist es möglich, auf entsprechenden Vorarbeiten aufzusetzen (s. u.).

### 3.2 Höhenlinienableitung

Die Ableitung von Höhenlinien aus gegebenen DGM-Daten ist eine Standardaufgabe der DGM-Verarbeitung. Die explizite Berücksichtigung der Lageobjekte zur morphologisch korrekten Wiedergabe der Höhenlinien kann durch verschiedene Steuermöglichkeiten erreicht werden. So können Geländelinien in Form von Bruchkanten, Mulden- oder Rückenlinien eingebracht werden; die Art der Geländelinie steuert dabei, wie stark die Höhenlinien an diesen Linien abknicken. Weiterhin können Aussparungsflächen definiert werden, für die keine Höhenlinien zu generieren sind. Diese Aufgabe wird von kommerziellen Programmen gelöst. Beispiele dazu sind ArcGIS, TASH und SCOP.

## 4 Lösungskonzept

Das in dieser Vorstudie vorgeschlagene Konzept zur Integration von Lage- und Höhendaten orientiert sich im Wesentlichen an der Darstellung der prinzipiellen Problemstellung. Zunächst werden die in exemplarischen Untersuchungen erzielten Ergebnisse aufgeführt und dargestellt.

Prinzipiell ist zunächst zu untersuchen, welche Landschaftsobjekte inhärent DGM-relevante Informationen beinhalten und Zwangsbedingungen für die DGM-Erstellung erzeugen. Für diese morphologisch relevanten Objekte ist die Integration durchzuführen.

Weiterhin ist eine Vorverarbeitung erforderlich, welche die spezielle Problemstellung dieser Studie berücksichtigt, d.h. die Erfordernisse einer Integration des DGMs an einen kartographisch generalisierten Landschaftsdatenbestand. Diese Vorverarbeitung beinhaltet im Wesentlichen eine geometrische Anpassung der Objekte im Sinne lokaler Transformationen.

Nach einer Vorverarbeitung werden die für die DGM-Darstellung wesentlichen Situationsobjekte semantisch integriert. Dabei wird zwischen isolierten, flächenhaften Objekten und linienhaften, netzbildenden Objekten unterschieden, da erstere mit lokalen Operatoren bearbeitet werden können, während bei letzteren großräumige Gebiete prozessiert werden müssen. Für beide Fälle sind Softwareentwicklungen notwendig, da kommerzielle DGM-Pakete den Aspekt der semantischen Konsistenz bisher nicht berücksichtigen. Nach Informationen der Autoren ist damit in überschaubarer Zukunft auch nicht zu rechnen.

### 4.1 Morphologisch relevante DLM-Objekte für mittlere Maßstäbe

Wie im vorigen Kapitel beschrieben, wirken sich Inkonsistenzen bezüglich der Integration von DGM und DLM bei einigen Objekten besonders störend aus. Dies ist für Landschaftsobjekte der Fall, welche sich durch ihre (physikalischen) Eigenschaften in das Relief einprägen und dieses beeinflussen. Für Seen bzw. das Meer ist es offensichtlich, dass die Uferlinie eine Höhenlinie darstellen sollte. Dies bedeutet insbesondere auch, dass die Höhenlinien einen See nicht kreuzen dürfen.

Flüsse fließen bergab, das bedeutet für die Höhenlinien, dass sie von der Quelle zur Mündung kontinuierlich abnehmen müssen. Breitere Flüsse, die im Datenbestand als flächenhafte Objekte repräsentiert werden, weisen keine Querneigung auf, daher verlaufen die Höhenlinien senkrecht zur Uferlinie. Dies gilt gleichermaßen für Straßen, allerdings nur im großmaßstäbigen Bereich, wo die Straßen als flächenhafte Objekte modelliert und nicht lediglich durch eine Signatur dargestellt werden.

In dem hier betrachteten Maßstabsbereich sind Straßen linienhafte Objekte und müssen daher nicht berücksichtigt werden. Weitere Landschaftsobjekte wie Vegetation, Siedlung oder administrative Objekte haben keine oder nur geringe morphologische Einflüsse und werden daher ebenfalls nicht berücksichtigt. Es erfolgt also eine Konzentration auf hydrologische Objekte Seen und Flüsse.

## 4.2 Vorverarbeitung

In einem Vorverarbeitungsschritt werden die Verschiebungsvektoren zwischen KVD und DLM50.1, die die Effekte der Generalisierung enthalten, zu einem 2D-Verschiebungsvektorfeld interpoliert. Das Vektorfeld wird dabei von den Projektpartner DBIS bestimmt (Tiedge et al., 2006). Die Dichte des Vektorfeldes orientiert sich an der Gitterweite des DGM-Bund und beträgt 25 m. Der Schritt der Interpolation selber entspricht konzeptionell der Ableitung eines regelmäßigen Geländemodells aus unregelmäßig verteilten Stützpunkten, hier getrennt für die beiden Lagekoordinaten, dafür stehen verschiedenen Methoden zur Auswahl.

In vorliegendem Fall wurde das Verschiebungsvektorfeld aus zugeordneten Straßendaten bestimmt. Im Anschluss an die individuelle Verschiebung jedes einzelnen DGM-Stützpunktes kann wieder ein regelmäßiges Gitter abgeleitet werden. Für den Fall, dass die Gelände und Situation vor der Prozessierung semantisch passend waren, kann dieses regelmäßige Gitter-DGM als kartographisch generalisiertes DGM angesehen werden.

Abbildung 3 zeigt das Verschiebungsvektorfeld.

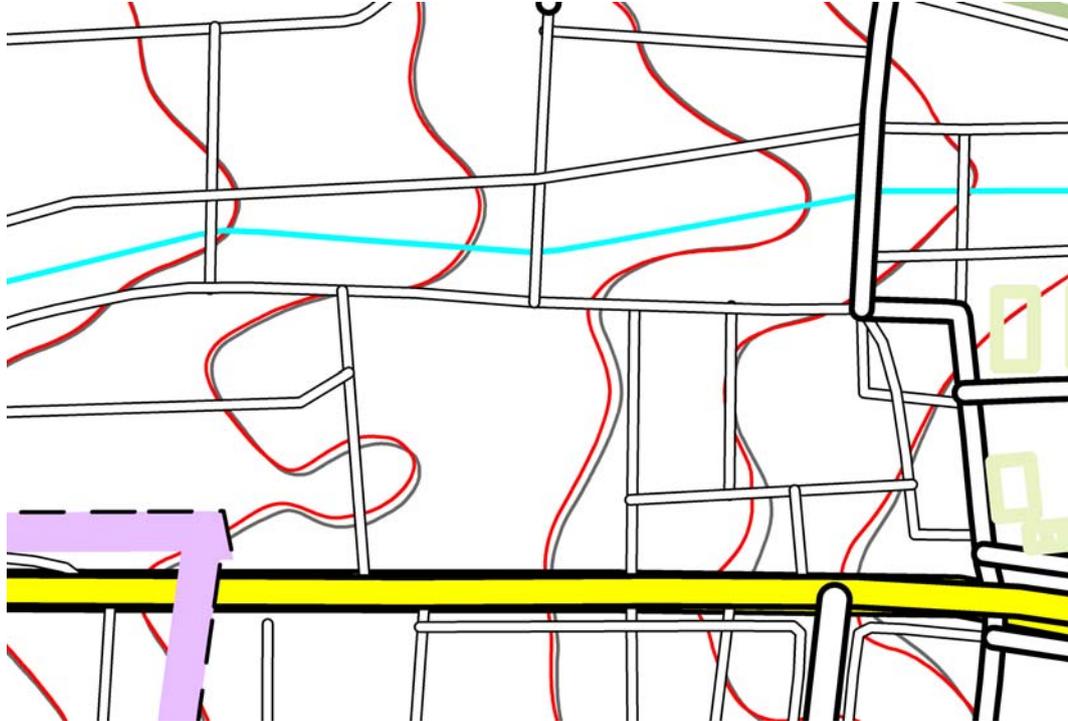


**Abbildung 3: Verschiebungsvektoren berechnet aus zugeordneten Straßendaten.**

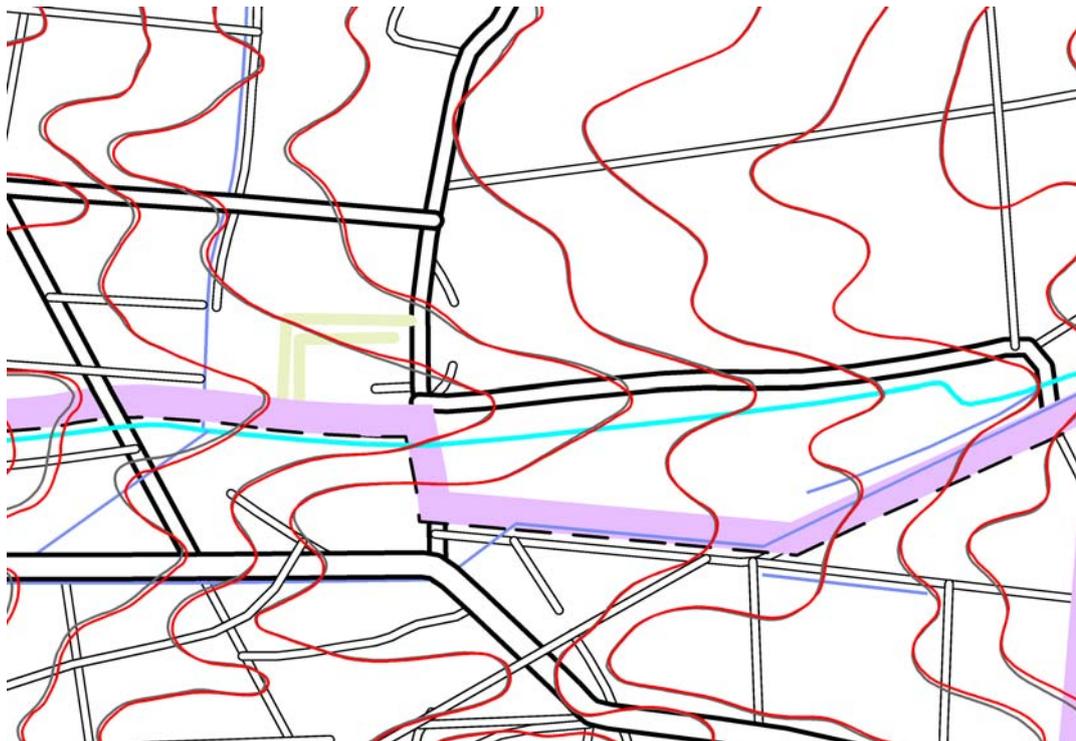
Im zweiten Schritt ist das Verschiebungsvektorfeld auf das DGM-Bund anzuwenden, um dem DGM die Generalisierungseffekte aufzuprägen.

Die Abbildung 4 bis 6 zeigen das Ergebnis für die Anwendung des Verschiebungsvektorfeldes für einen Testbereich. Die Höhenlinien des DGM-Bund sind in grau dargestellt und die verschobenen Höhenlinien in rot. Die ersten Ergebnisse zeigen bisher keine signifikant großen Unterschiede in den Höhenlinien auf. Verschiebungen treten in diesem Beispiel nur im Bereich von Straßengeometrien auf, da bisher nur die Straßen zwischen KVD und ATKIS zugeordnet wurden. Da die Gewässerläufe zur Zeit noch nicht

mit in das Matching mit einbezogen sind, gab es hier auch keine signifikanten Verschiebungen; dies ist in Abbildung 5 deutlich, wo der Fluss nicht im Talweg verläuft. Daher müssen zukünftig die Gewässerläufe für die Erstellung des Verschiebungsvektorfeldes mit berücksichtigt werden, um das Ergebnis des Rubbersheetings zu verbessern. Es ist auch das verwendete Rubbersheeting zu verifizieren, um festzustellen, ob die im Augenblick unbefriedigenden Ergebnisse möglicherweise von dem verwendeten Verfahren abhängen.

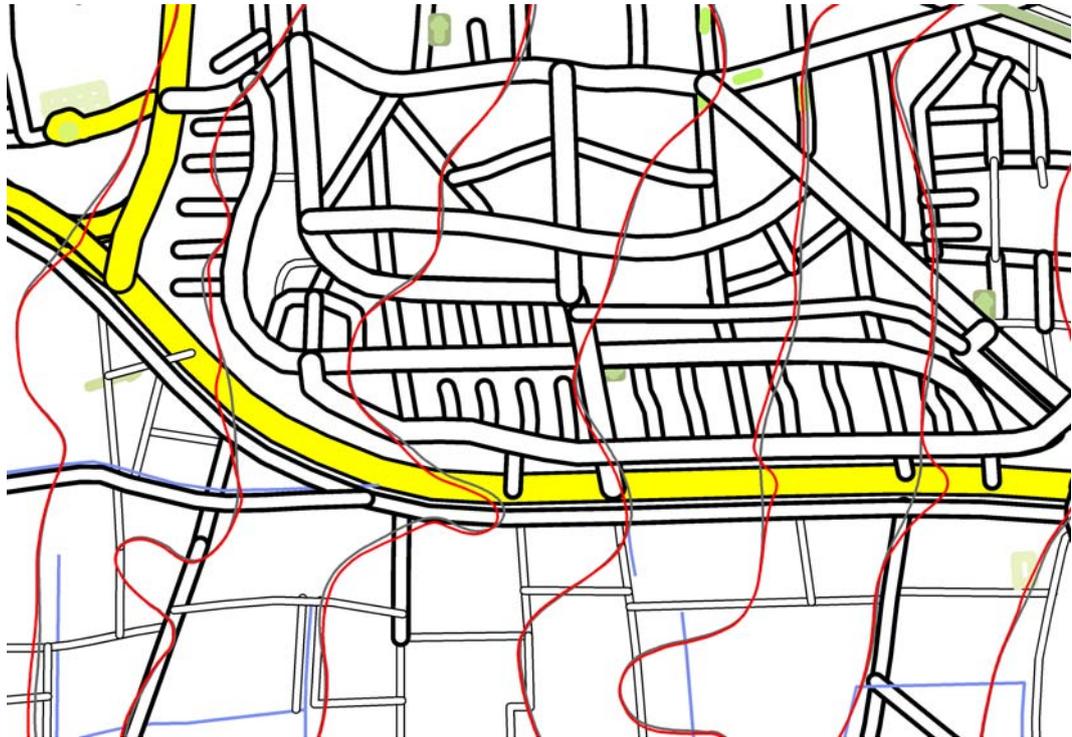


**Abbildung 4: Anwendung des Vektorverschiebungsfeld auf das DGM-Bund. Original Höhenlinien (grau) und verschobene Höhenlinien (rot).**



**Abbildung 5: Anwendung des Verschiebungsvektorfelds**

Abbildung 6 zeigt einen Ausschnitt, wo die Verschiebungsvektoren im Bereich der Straße zu einer Verschlechterung des Ergebnisses führen, da auf diese Weise lokale Höhenunterschiede in die Straße eingebracht wurden, die vorher nicht da waren.



**Abbildung 6: Anwendung des Vektorverschiebungsfeld auf das DGM-Bund (grau) kann auch zur Verschlechterung der visuellen Qualität der Höhenlinien (rot) führen. Siehe gelbe Bundestrasse im rechten Bildbereich.**

Durch die Verschiebung des DGM wurde ein neues Geländemodell erzeugt, welches prinzipiell zu den Lageobjekten passen müsste; eine weitere Konsistenz im Sinne von semantischer Richtigkeit der Landschaftsobjekte bezogen auf das Gelände ist dadurch allerdings noch nicht zwangsläufig erreicht; dies ist auch in vorliegendem Fall so, da der KVD nicht zusammen mit dem Digitalen Geländemodell erhoben und integriert wurde – was sicherlich auch ein Grund für die Abweichungen in den obigen Beispielen ist.

Daher kann es zusammen mit dem KVD lediglich für Aufgaben eingesetzt werden, für die nur ein moderater Qualitätsanspruch besteht (d. h. für die weder die semantische Konsistenz noch die kartographisch korrekte Darstellung der Höhenlinien von Bedeutung ist). Für eine kartographisch korrekte Darstellung muss sich im Folgenden ein Prozess anschließen, bei dem die DGM-Höhen derart modifiziert werden, dass die semantischen Bedingungen der auf ihnen liegenden Situationsobjekte korrekt wiedergespiegelt werden. Im Anschluss an die individuelle Verschiebung jedes einzelnen DGM-Stützpunktes kann optional wieder ein regelmäßiges Gitter abgeleitet werden. Auch dafür steht die genannte Standard-Software zur Verfügung. Für den Fall, dass die Gelände und Situation vor der Prozessierung semantisch passend waren, kann dieses regelmäßige Gitter-DGM als kartographisch generalisiertes DGM angesehen werden.

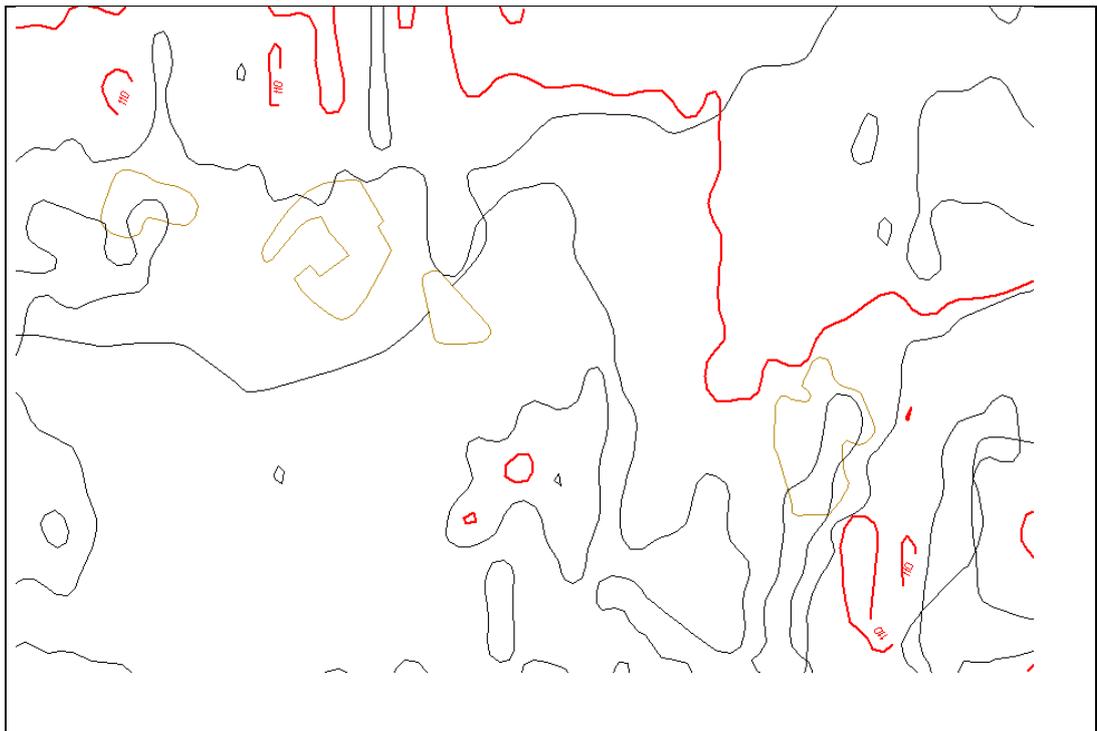
Dies ist in vorliegendem Fall jedoch nicht möglich, da der KVD nicht zusammen mit einem Digitalen Geländemodell erhoben und integriert wurde. Daher kann es zusammen mit dem KVD lediglich für Aufgaben eingesetzt werden, für die nur ein moderater Qualitätsanspruch besteht (d. h. für die weder die semantische Konsistenz noch die kartographisch korrekte Darstellung der Höhenlinien von Bedeutung ist). Für eine kartographisch korrekte Darstellung muss sich im Folgenden ein Prozess anschließen, bei dem die DGM-Höhen derart modifiziert werden, dass die semantischen Bedingungen der auf ihnen liegenden Situationsobjekte korrekt wiedergespiegelt werden.

#### 4.3 Berücksichtigung der semantischen Konsistenz: lokale, flächenhafte Objekte

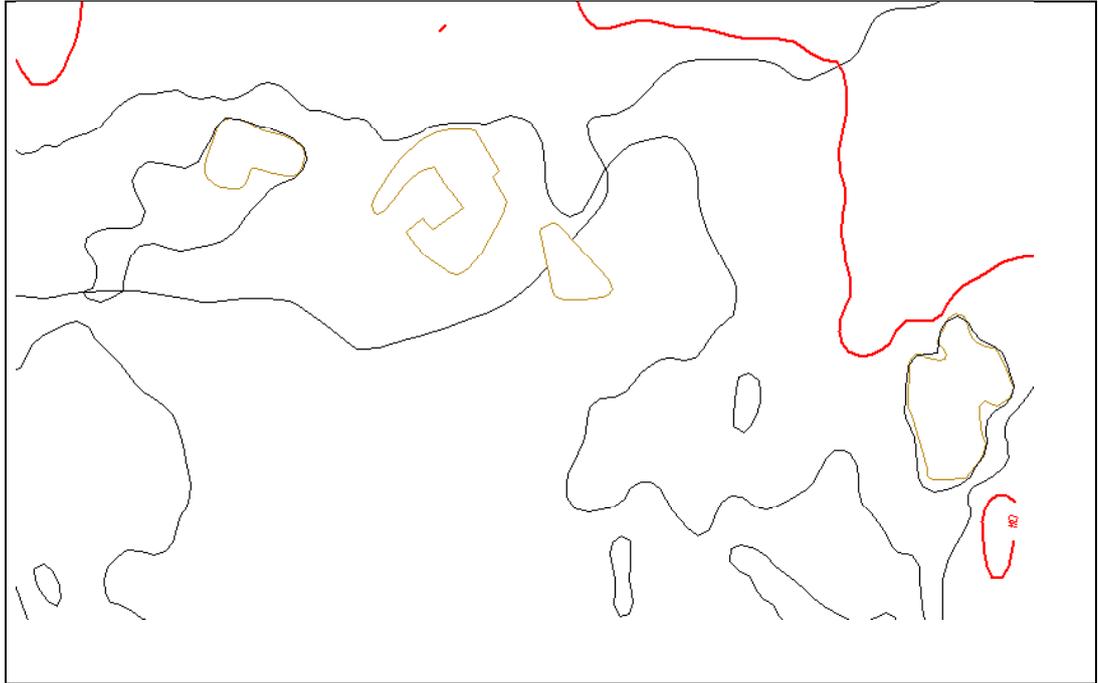
Die wesentlichen flächenhaften lokalen Objekte, die eine Auswirkung auf das DGM haben, sind Seen. Die Bedingung, die durch einen See für das DGM gefordert wird ist, dass ein See eine einheitliche Höhe hat und diese niedriger ist als das den See umgebende Gelände. Der Prozess, der für die Bearbeitung der Seen vorgeschlagen wird ist daher folgender:

- Berechnen der Höhen der Punkte innerhalb der Seefläche des KVD
- Bestimmung des niedrigsten Punktes innerhalb der Seefläche
- Setzen aller Seehöhen auf diese niedrigste Höhe (bzw. eine mittlere Höhe)
- Einführung des Seerandes als Bruchkante
- Berechnung des DGM

Nach dieser Prozessierung verlaufen die Isolinien nicht mehr durch die Seen (vgl. Abbildung 2).



**Abbildung 7: Höhenlinien verlaufen durch den See (braune flächenhafte Objekte)**



**Abbildung 8: Nach der semantischen Berücksichtigung der Seen: Höhenlinien verlaufen korrekt um die Seen herum.**

#### 4.4 Berücksichtigung der semantischen Konsistenz: linienhafte, netzbildende Objekte

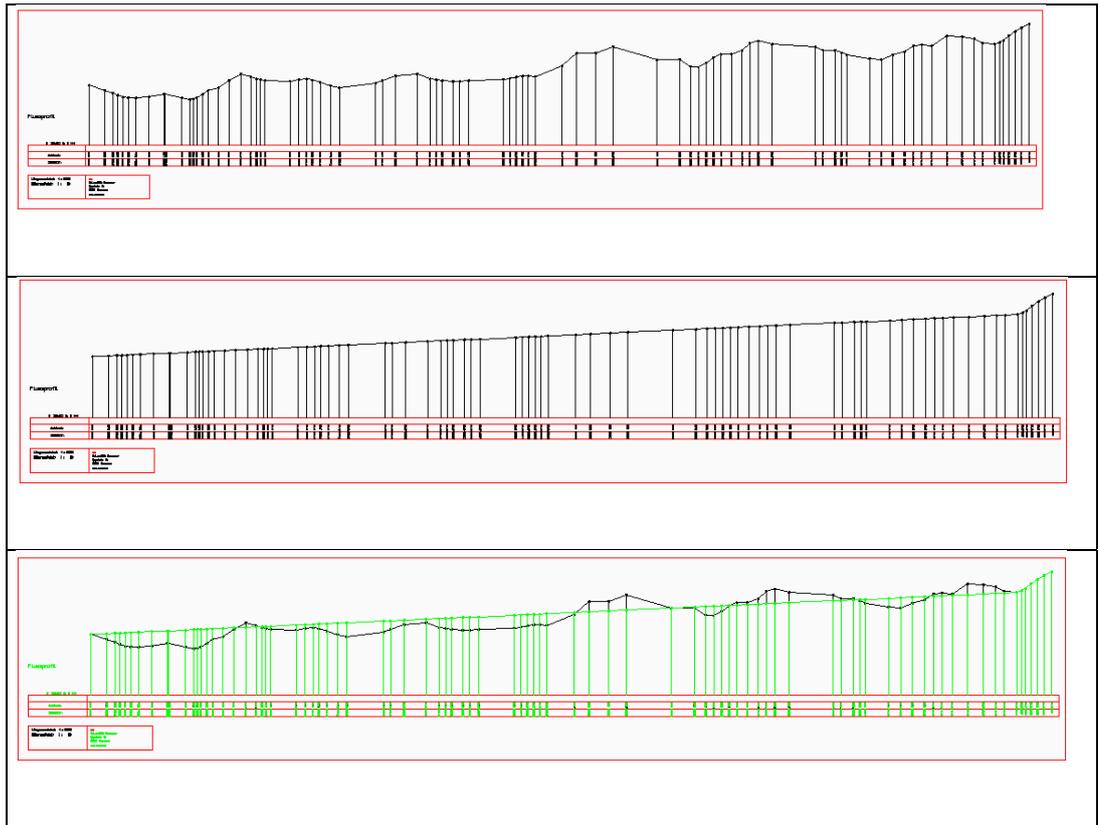
Die für die DGM-Darstellung wichtigen linienhaften Objekte sind Flüsse. Sie sind prinzipiell linienförmig, können allerdings auch flächenhaft modelliert sein, wenn es sich um sehr große bzw. breite Flüsse handelt. Für Flüsse muss ein komplexerer Ansatz gewählt werden, um auch über größere Distanzen und im Verhältnis zu benachbarten Objekten konsistente Ergebnisse zu erzielen. Die Grundbedingung, die für Flüsse gelten muss, ist, dass das Wasser von der Quelle zur Mündung immer abwärts fließen muss, d.h. dass im Flussprofil in Fließrichtung ein monoton fallendes Gelände vorliegen muss. Diese Bedingung kann durch unterschiedliche Ansätze erzwungen werden, welche im Folgenden dargestellt werden.

##### 4.4.1 Lineare Verteilung des Gefälles längs des Längsprofils

Hierzu werden folgende Verarbeitungsschritte durchgeführt:

- Berechnung der Höhen der einzelnen Flussprofilpunkten aus dem DGM
- Einführen des Flussprofils als Bruchkante (bzw. der Uferlinien als Bruchkanten)
- Lineare Verteilung der Höhen entlang des Flusses in Hinblick auf das Gefälle
- Berechnung des DGM mittels TASH

Abbildung 9 zeigt exemplarisch das Längsprofil eines Flusses vor und nach der Bearbeitung. Es wird deutlich, dass die Fließbedingung vorher nicht überall eingehalten ist. Nach der linearen Verteilung des Gefälles ist diese Bedingung gegeben.



**Abbildung 9: oben: Längsprofil im Original-DGM, Mitte: angepasstes Längsprofil, welches die Bedingung des monotonen Gefälles beinhaltet; unten: Unterschied zwischen beiden Profilen.**

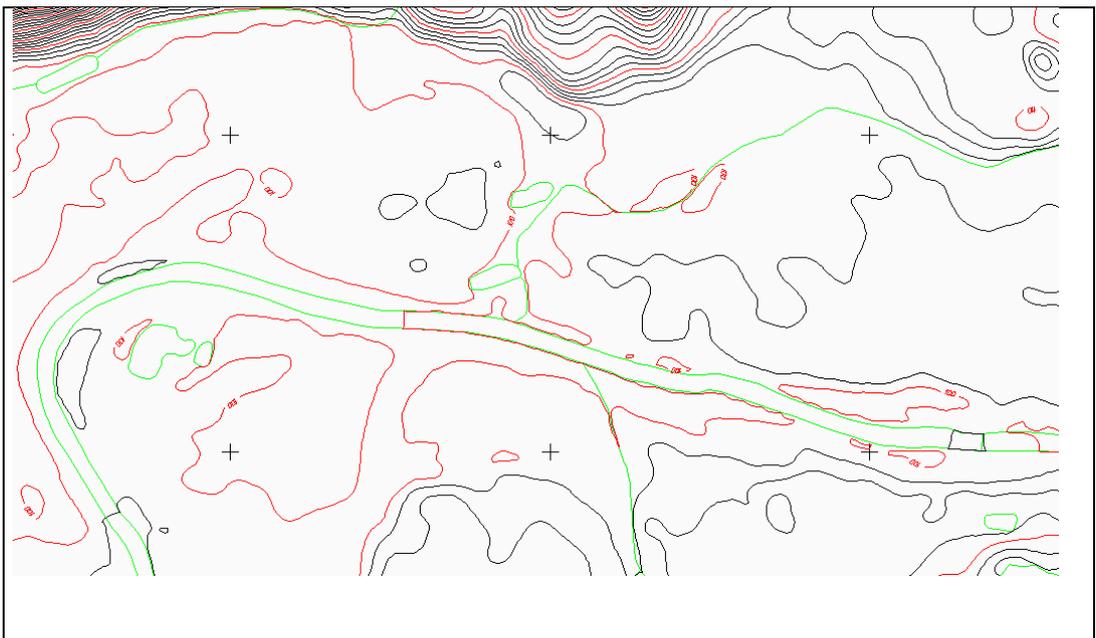
Liegt der Fluss als flächenhaftes Objekt vor, so muss jeweils lokal im Querprofil der niedrigste Punkt ermittelt werden, der dann die Flusshöhe im Querprofil darstellt. Die folgenden Abbildungen zeigen die Situation vor und nach der Anpassung.



**Abbildung 10: Situation vor der Anpassung: Höhenlinien verlaufen durch den Fluss; „Höhenlinieninseln“ im Fluss zeigen fälschlicherweise lokale Senken im Fluss an.**



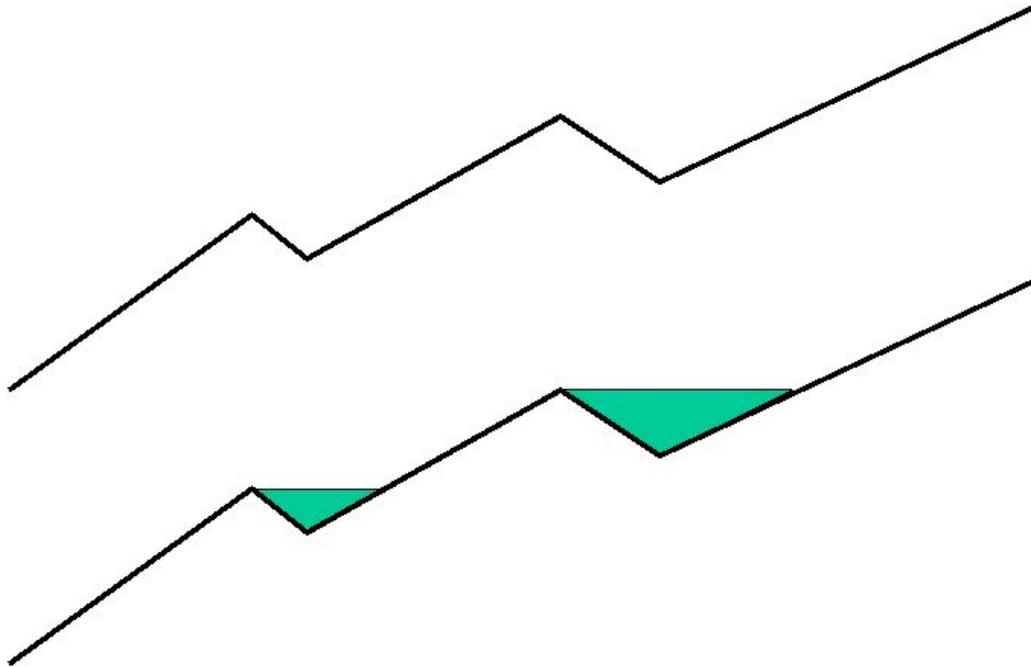
**Abbildung 11: Nach der Einführung der Uferlinien als Bruchkanten: noch immer lokale Senken im Fluss**



**Abbildung 12: nach Einführung eines linearen Gefälles**

#### **4.4.2 Adaptive Anpassung der Profilhöhen im Flussverlauf**

Die im vorigen Abschnitt vorgestellte lineare Verteilung des Gefälles auf das Längsprofil führt dann zu ansprechenden Ergebnissen, wenn der tatsächliche Verlauf des Flusses dieser Annahme in etwa entspricht. Ansonsten werden zu tiefe Einschnitte in das Gelände vorgenommen bzw. zu starke Aufschüttungen. Ein weiterer heuristischer Ansatz kann dabei folgendermaßen vorgehen: anstelle das Gefälle linear zwischen Quelle und Mündung zu verteilen, geht man inkrementell von der Mündung flussaufwärts und stellt dabei sicher, dass die Höhe des nächst folgenden Profilpunkts immer größer oder gleich der aktuellen Höhe ist. Ist dies nicht der Fall, werden die folgenden Höhen gleich der aktuellen Höhe gesetzt. Mit dieser Heuristik können stärkere Geländeunterschiede besser berücksichtigt werden.



**Abbildung 13: lokale Adaption durch "Aufschüttung"**

Dieser Ansatz führt zu lokalen „Aufschüttungen“ des Geländes, d.h. im Mittel wird der Fluss zu hoch verlaufen.

Einen globalen Ausgleich zwischen Aufschütten und Abtragen liefert folgender globaler Ansatz, der auf Ausgleichung beruht.

#### **4.4.3 Globale Fließbedingung**

Ein dritte Ansatz schließlich ermöglicht eine elegante Formulierung und Lösung des Problems als Ganzes: Die Grundidee besteht darin, dass für die Punkte der Flussachse Ungleichungen aufgestellt werden, die besagen, dass die Höhen von der Quelle zur Mündung monoton fallen müssen. Gleichzeitig wird für jeden Achsenpunkt gefordert, dass er der tiefste Punkt eines Querprofils ist, d. h. dass die beiden Uferhöhen links und rechts der Achse größere Werte annehmen als die Flusshöhe. Durch diese Bedingung wird der Fluss in die Nachbarschaft eingebettet, auch kann die Mündung eines Flusses in einen anderen und damit die Bildung von Flussnetzen berücksichtigt werden. sind auch Breite Flüsse, die nicht linien- sondern flächenhaft modelliert werden, besitzen in diesem Modell ein breiteres, d. h. aus mehreren Punkten bestehendes Querprofil.

Die verschiedenen Bedingung werden als Gleichungen und Ungleichungen formuliert und gemeinsam in einer Ausgleichung berücksichtigt. Die DGM-Höhen stellen dabei die Unbekannten dar, ein Satz weiterer Gleichungen sorgt dafür, dass sich die DGM-Oberfläche nur soweit verändert, wie es die Bedingungen verlangen.

Für diesen Ansatz liegen am IPI Vorarbeiten in Form der Dissertation von Andreas Koch vor (Koch 2006). In dieser Arbeit werden der mathematische Ansatz sowie erste Ergebnisse für kleine, exemplarisch ausgewählte Datensätze beschrieben. Aufgrund dieser Vorarbeiten steht die Realisierbarkeit des Ansatzes auch für größere Gebiete außer Frage, allerdings ist einiger Entwicklungsaufwand notwendig, um eine als Prototyp zu bezeichnende Softwareversion zu erstellen und zu testen.

#### **4.5 Attributierung der Lageobjekte mit Höheninformation**

Nach erfolgter Integration kann für jede Lageposition aus dem DGM eine Höhe interpoliert werden. Diese kann an der Lageposition als Attribut angehängt werden. Weitere Fragen,

wie die Bestimmung einer gemeinsamen Höhe für ein DLM-Objekt und die flächenhafte Approximation der Höhe von ausgedehnten DLM-Objekte durch lokale Polynome liegen außerhalb der Ziele der vorliegenden Vorstudie und werden an dieser Stelle nicht vertieft.

#### 4.6 Partitionierung des Datensatzes

Für die Bearbeitung größerer Gebiete – potentiell ganz Deutschland – ist zu untersuchen, wie diese in einzelne lokale Bearbeitungsgebiete unterteilt werden kann. Zunächst kann davon ausgegangen werden, dass jedes Objekt für sich jeweils lokal bearbeitet werden kann. Allerdings können die Höhenänderungen der morphologisch relevanten Objekte auch Auswirkungen auf die Höhen des benachbarten Geländes haben. Wie groß der jeweilige Wirkungsbereich ist bzw. sein muss, ist durch umfangreiche Tests mit dem zu entwickelnden Softwareprototypen zu untersuchen.

Es wird davon ausgegangen, dass die durch die einzelnen Objekte entstehenden Partitionen problemlos mit dem avisierten Softwarepaket TASH zu bearbeiten sind.

#### 4.7 Datenhaltung

Eine Integration verschiedener Daten darf i. a. nicht dazu führen, dass die einzelnen Datenbestände nicht auch separat weitergepflegt und aktualisiert werden können, denn ein derartiges Datenkonzept wäre zu aufwändig und würde eine Reihe von Änderungen an den bestehenden Strukturen am BKG notwendig machen. Zur Lösung dieser Aufgabe bestehen prinzipiell zwei Möglichkeiten:

- die Integration hat lediglich temporären Charakter und wird bei jeder gemeinsamen Verwendung der Daten erneut durchgeführt. Dies bedingt, dass die Integration vollkommen automatisch und sehr schnell abläuft, da der Nutzer andernfalls zu lange Wartezeiten in Kauf nehmen müsste. Eventuelle Veränderungen an den Daten werden jedes Mal neu berechnet und müssen nicht abgespeichert werden.
- Veränderungen der Daten, die aufgrund der Integration notwendig sind, werden in die einzelnen Datenbestände übernommen oder zusätzlich gespeichert. Dann ist eine gemeinsame Visualisierung jederzeit möglich, so lange die einzelnen Datenbestände nicht unabhängig voneinander verändert (z. B. aktualisiert) werden. Nach einer Aktualisierung muss die Integration neu durchgeführt werden.

Die Berücksichtigung der semantischen Konsistenz erfordert ein TIN als Datenstruktur für das DGM. Im Zuge der Berechnungen werden die Höhenwerte verändert. Es wird vorgeschlagen, neben dem ursprünglichen DGM in Gitterform auch das neue TIN sowie die Höhenlinien – letztere als linienhafte Objekte – permanent vorzuhalten, um gemeinsame Darstellungen von Lage- und Höhe mit geringem Aufwand vornehmen zu können. Es ist gegebenenfalls zu untersuchen, wie Aufwand bei der Datenhaltung und Berechnungsaufwand gegenüberstehen, um möglicherweise eine on-the-fly-Berechnung durchführen zu können.

Eine Pflege und Aktualisierung des gemeinsamen Datensatzes wird dagegen im Augenblick als weniger zweckmäßig betrachtet, da ein solches Vorgehen einen deutlich erhöhten Aufwand nach sich ziehen würde. Langfristig ist diese Option allerdings zu geeigneter Zeit erneut zu prüfen.

#### 4.8 Softwarearchitektur

Zur Realisierung der vorgeschlagenen Lösung bietet es sich an, ein vorhandenes und allgemein nutzbares DGM-Softwarepaket um die fehlenden Komponenten der semantischen Konsistenz zu erweitern. Prinzipiell muss das kommerzielle Paket ein geeignetes API (Application Programming Interface) besitzen. Zur Umsetzung im Rahmen eines Prototypen schlagen wir vor, als Basis das Paket TASH zu verwenden, da dieses

Paket die notwendigen Module für die Vorverarbeitung bereits besitzt und am ikg entwickelt wurde. Deshalb ist das für die Erweiterung notwendige Know-how vor Ort verfügbar, was einen unschätzbaren Vorteil darstellt.

Es ist darauf zu achten, dass die Erweiterungen modular aufgebaut werden und mit TASH soweit möglich über Standard-Schnittstellen kommunizieren. Auf diesem Weg kann sichergestellt werden, dass eine später möglicherweise gewünschte Ankoppelung an andere DGM-Pakete ohne großen Zusatzaufwand möglich ist.

## 5 Bewertung des vorgeschlagenen Konzepts

### 5.1 Realisierungsaufwand

Der Aufwand zur Erstellung eines Software-Prototypen für die Integration der Lage- und Höheninformation sowie zur gemeinsamen Visualisierung liegt bei ca. 24 PM. Sie verteilen sich auf die Erarbeitung einer Detailstrategie zur Umsetzung des beschriebenen Lösungskonzepts, der Implementierung der notwendigen TASH Erweiterungen, wobei für die linienhaften Objekte auf die Software von Andreas Koch aufgesetzt werden kann, sowie auf Tests, Dokumentation und Installation des Programms am BKG.

Mittelfristig bietet der Ansatz die Möglichkeit, auch die lokalen flächenhaften Objekte zu bearbeiten und ermöglicht damit eine einheitliche Lösung für die semantische Konsistenz. Es ist jedoch aus zeitlichen Gründen sinnvoller, in einem ersten Schritt die unter 4.3 beschriebene Lösung umzusetzen, da dann zu einem deutlich früheren Zeitpunkt bereits mit Ergebnissen zu rechnen ist. Ob eine Einbeziehung der lokalen Objekte in den Ausgleichungsansatz tatsächlich notwendig ist, sollte auf der Grundlage der mit dem Ansatz in 4.3 erzielten Ergebnisse diskutiert werden.

### 5.2 Qualität des Ergebnisses

Aufgrund der Vorarbeiten gehen wir davon aus, dass das Ziel der gemeinsamen, konsistenten Darstellung von Lage- und Höheninformation mit der vorgeschlagenen Lösung erreicht wird. Als Ergebnis werden aufeinander abgestimmte Datensätze erhalten, die die gemeinsame Visualisierung der Daten mittlerer Maßstäbe in der geforderten Qualität erlauben.

Zu den erzielbaren Rechenzeit, etwa pro TK 50 Kachel, kann zu diesem Zeitpunkt noch nichts gesagt werden. Dies hängt von vielen Aspekten ab – neben der Komplexität des Algorithmus und der Güte der Implementierung sind dabei offensichtlich auch Hardwarefragen entscheidend.

Insgesamt glauben die Autoren, dass die vorgeschlagene Lösung der richtige Weg zur Erreichung des gesteckten Ziels ist. Sie bieten an, die Umsetzung im Rahmen einer Erweiterung der Aufgaben innerhalb des WiPKA-Projekts zu übernehmen.

## 6 Literatur

Koch, A., 2006: Semantische Integration von zweidimensionalen GIS-Daten und Digitalen Geländemodellen, Dissertation Leibniz Universität Hannover, Wiss. Arbeiten der Fachrichtung Geodäsie und Geoinformatik der Universität Hannover Nr. 262, 2006.

Tiedge, M., H. Warneke & U. Lipeck, 2006: Jahres-Kurzbericht über die Arbeiten im WiPKA-Teilprojekt DLM-Bund, Institut für Praktische Informatik, Fachgebiet Datenbanken und Informationssysteme, 2006.